Universidade Federal do Paraná
Departamento de Física
Laboratório de Física Moderna

Bloco 01: A RAZÃO CARGA/MASSA DO ELÉTRON

Introdução

A quantidade e/m foi medida experimentalmente pela primeira em 1897 por Sir J. J. Thomson no Cavendish Laboratory, em Cambrigde, Inglaterra. Esta experiência confirmou a existência do elétron como partícula elementar de carga negativa e massa definida.

Um esquema do aparato experimental utilizado por Thomson está apresentado na Figura 1. Um tubo em vácuo possui um cátodo C o qual emite elétrons. Os ânodos A e A' fazem que o feixe seja colimado em direção a uma tela fluorescente S. No meio do caminho, o feixe atravessa uma região onde existem duas placas P e P' carregadas positivamente e negativamente. Por consequência, haverá um campo elétrico **E** atuando sobre o feixe de elétrons, o qual tende a se deslocar para cima. Juntamente com as placas, existe um conjunto de espiras que cria um campo magnético **B** na direção mostrada na Figura 1. Tal campo **B** é orientado de modo a produzir uma deflexão no feixe de elétrons para baixo. Os dois campos podem ser ajustados de tal modo que a força elétrica atuando sobre o feixe equivale à força magnética e o feixe passa pelas placas P e P' sem sofrer deflexão. Deste modo:

$$eE = evB \qquad \text{e} \qquad v = \frac{E}{B}$$

A energia cinética que o elétron adquire ao ser emitido pelo cátodo é igual a **e.V**, onde V é a diferença de potencial aplicada. Portanto:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV$$

Combinando as duas equações acima, obtemos:

$$\frac{e}{m} = \frac{E^2}{2\,B^2 V}$$

Portanto, a razão e/m pode ser medida uma vez que as outras quantidades são conhecidas. Thomson verificou que esta razão independia do material do qual o cátodo era constituído ou do tipo de gás residual que existia dentro do tubo, mostrando assim que a razão e/m era universal.

Uma extensão do método utilizado por Thomson para a medida da razão e/m originou a técnica de espectroscopia de massa. Em 1919, Francis Aston, um aluno de Thomson, construiu o primeiro espectrômetro de massa utilizando um aparato experimental mais sofisticado com um arranjo diferente para os campos elétrico e magnético. Assim foram descobertos os primeiros isótopos.

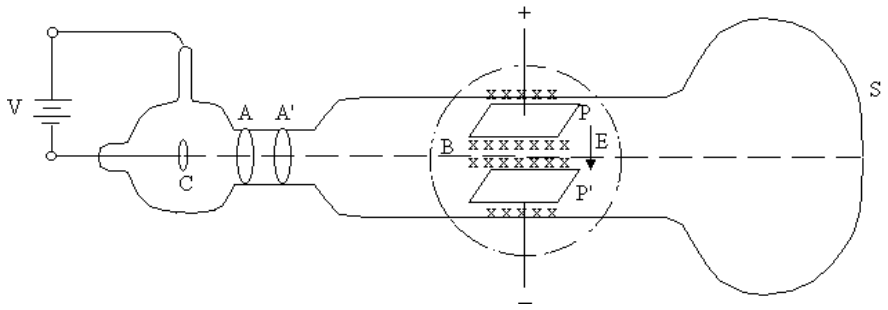


Figura 1. Aparato experimental utilizado por J. J. Thomson na medida da razão e/m do elétron.

Um outro método para a medida da razão e/m do elétron é o empregado por P. Lenard, em 1902. Neste caso, um feixe de elétrons é acelerado por um potencial **V** e sofre a ação apenas de um campo magnético **B**. O movimento resultante do feixe é um movimento circular de raio r que pode ser calculado pois a força magnética é igual a força centrípeta. Portanto:

$$\frac{mv^2}{r} = evB$$

Mas como a energia cinética adquirida $1/2\,mv^2$ é igual a **e.V**, temos que:

$$\frac{e}{m} = \frac{2V}{r^2B^2}$$

O aparato experimental utilizado por este método é representado na Figura 2. Consiste de um feixe de elétrons que é focalizado em um orifício no centro de um disco por um eletrodo cilíndrico carregado negativamente. Este disco possui marcas concêntricas em sua face superior e é revestido de um material fluorescente. Sob a ação de um campo magnético, o feixe descreve uma trajetória circular cujo raio depende do valor de **B**. No ponto onde o feixe atinge a superfície superior do disco, haverá fluorescência. Deste modo, pode-se determinar em que posição o feixe de elétrons incide sobre o disco. No interior do recipiente existe uma atmosfera de um gás rarefeito tal como argônio. Neste caso, o feixe ioniza o gás e permite a observação de sua trajetória.

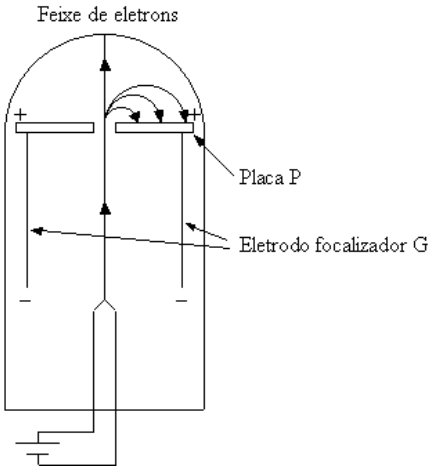


Figura 2. Aparato experimental utilizado na determinação da razão e/m.

No aparato de medida, o campo magnético é gerado por bobinas de Helmholtz. Estas são constituídas por dois enrolamentos idênticos, ou seja, de mesmas dimensões e de mesmo número de espiras e cuja separação entre elas é igual ao raio das espiras. Nestas condições, o campo magnético é uniforme em um dado ponto equidistante das duas espiras e localizado ao longo do eixo central, tendo sua magnitude dada por:

$$B = \frac{8}{5^{3/2}}\mu_o \frac{n\,i}{R}$$

na qual μ_o é a permeabilidade magnética do vácuo, n o número de espiras, R o raio das espiras e i é a corrente elétrica.

Procedimento

Inicialmente utilizaremos o equipamento da PASCO:

1) Com as fontes desligadas faça as conexões elétricas necessárias. Ligue o filamento do bulbo (*heater*) à fonte AC (aquela limitada em 7 V). Ligue as placas de aceleração (*electrodes*) à fonte DC (0-500 V).

2) Ligue a bobina de Helmholtz à fonte DC (preta). Esta fonte tem um voltímetro e um amperímetro integrado. Coloque todos os botões de controle das fontes na posição mínima.

2) Antes de ligar os botões de liga/desliga das fontes chame o professor para a conferência das ligações. Desculpe, parece bobagem, mas já assistimos às coisas mais incríveis e fantásticas em matéria de interligação de fios!

3) Aumente a voltagem AC do filamento até o **máximo de 5 A**. Ele aquece, fica rubro (verifique!) e passa a emitir elétrons.

4) Aumente o potencial de aceleração dos elétrons até próximo de 150 V. Deve ser possível ver o "rastro" dos elétrons. Dizemos assim, porque os elétrons são invisíveis, mas sua trajetória é marcada pela ionização que eles causam ao gás rarefeito dentro do bulbo. Por enquanto a trajetória que pode ser observada é uma reta.

5) Aumente o potencial que alimenta a bobina de Helmholtz. A fonte DC que você usa é limitada tanto em voltagem quanto em corrente. Aumente ambos os controles lentamente. Há mais um limitador de corrente no botão sob a bobina que não deve ser alterado. A trajetória dos elétrons ficará curva inicialmente. Aumentando a corrente na bobina você conseguirá uma trajetória circular. Limite-se à **corrente máxima de 4 A**. As bobinas esquentam. Verifique com frequência a temperatura das bobinas. Em caso de superaquecimento, diminua a corrente para zero e chame o professor.

6) Agora meça o diâmetro do círculo descrito pelos elétrons usando a escala espelhada no fundo do bulbo de vidro. O erro cometido nesta leitura causa basicamente a imprecisão no resultado do e/m calculado.

7) Faça experimentos com **V** fixo e variando-se **B** e com **B** fixo e variando-se **V**. Calcule e/m pelas fórmulas dadas na introdução e preencha as tabelas do Vapt-Vupt. Compare seus resultados com o valor oficial. A calibração do campo magnético em função da corrente é dada no painel de suporte das bobinas.

Agora passaremos ao equipamento CENCO.

1) Com as fontes desligadas faça as conexões necessárias. Fonte AC no "*filament*"; fonte DC 0-500 V + no "*plate*" e 0 no "*filament*". Fonte de baixa tensão no "*field*".

2) Chame o mestre para a conferência das ligações.

3) Aumente a voltagem do filamento até enrubescer levemente.

4) Aumente o potencial de aceleração até que apareça a trajetória retilínea dos elétrons. Aqui a cor do "rastro" é diferente porque o gás ionizável no bulbo é outro.

5) Aumente a corrente na bobina de Helmholtz provocando a deflexão magnética.

6) Faça os elétrons incidirem nas ranhuras a 0.5, 1 e 1,5 cm. Use várias voltagens de aceleração e várias correntes na bobina.

7) Faça uma tabela e calcule e/m para cada medida.

8) Compare a média com o valor oficial. E não esqueça o Vapt-Vup!

UFPR- Departamento de Física

Laboratório de Física Moderna

Relatório Vapt-Vupt

Bloco 01: A RAZÃO CARGA/MASSA DO ELÉTRON.

1) Faça um diagrama das ligações elétricas ao equipamento PASCO.

2) Meça o diâmetro do círculo descrito pelos elétrons para as seguintes condições:

Potencial fixo

Potencial ( )	Corrente ( )	Campo magnético ( )	Raio da órbita ( )

Campo magnético fixo

Potencial ( )	Corrente ( )	Campo magnético ( )	Raio da órbita ( )

3) Faça gráficos linearizados para os dois casos, encontre a razão e/m e compare com o valor oficial.

4) Faça um diagrama das ligações ao equipamento CENCO.

5) Faça uma tabela para vários valores das variáveis.

V (Volts)	R (m)	B (w/m^2)	e/m (coul/kg)

6) Calcule e/m médio e compare com o valor oficial.